

터널 시공이음부에서의 방수재 역할에 대한 실험연구

An Experimental Study on Performance of Water Stops at Construction Joints in Tunnel

백 송 훈 ¹⁾

¹⁾ 한국통신 가입자망연구소 전임연구원, Member of Technical Staff, Access Network Technology Laboratory, Korea Telecom

SYNOPSIS : Mostly, water leakage took place in construction joints. In case of cable tunnels constructed by open-cut method, waterstops have been used to prevent the water leakage. But, we haven't any experience to install the waterstops in NATM cable tunnels. So, it is necessary to develop the waterstops and test the performance of it in laboratory.

We manufactured cable tunnel lining quarter scale model by pouring concrete, and installed the waterstops. After filling the inside of concrete lining about two-third with water, we put the air pressure on the water. In addition, it is also carried out water leakage test for concrete lining model without waterstops. As a result, we confirmed the performance of waterstops and its adaptability.

It is also tested that the performance of rubber gaskets used in concrete segments of Shield tunnelling. In addition, we determined the allowable infiltration rate for cable tunnel with non-drainage system.

Key words : Tunnel, Water Leakage, Water Stops, NATM, Shield

1. 통신구 터널의 방수기준

1.1 NATM 터널 통신구

지금까지의 통신구 터널은 비배수형 방수개념으로 설계와 시공이 이루어 졌으나 터널 내부로 유입되는 지하수를 효과적으로 차단하지 못하여 터널 내부로 유입된 물을 집수정으로 유도하여 배수하는 배수형 터널로 유지관리되고 있다. 높은 수압을 받고 있는 터널형 통신구에서 완벽한 차수를 달성하는 것은 사실 불가능에 가까운 일로 한국통신에서는 현장여건에 따라 다음의 <표 1>과 같이 비배수형 터널과 배수형 터널로 구분하여 설계와 시공을 할 수 있도록 표준공법 설계기준(안)을 마련하였으며, 허용 누수량을 설정하여 어느 정도의 누

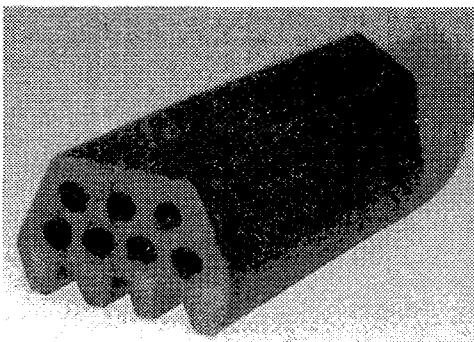
수를 인정하기로 하였다.

<표 1> NATM 터널 통신구의 방수방식

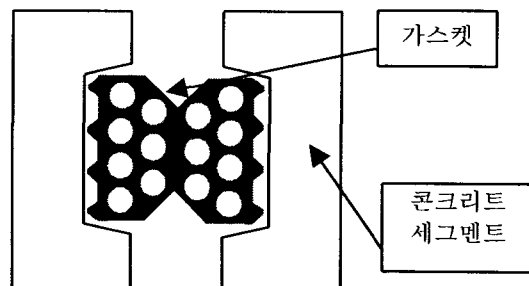
방수형식	방 배수 공정	적용 범위	허용 누수량
비배수형	<ul style="list-style-type: none"> 배수재 1겹 시공 일반 방수막 1겹, 전주(全周)시공 시공 이음부 지수판 부착 콘크리트 강도 270 kg/cm² 누수 집수관 설치(측벽 하단) 집수정에 배수 차단밸브 설치 	<ul style="list-style-type: none"> 실용터널(약간의 물 방울이 떨어지는 정도) 수압 3 kg/cm² 미만 	0.5 ℓ /min/100m
배수형	<ul style="list-style-type: none"> 배수재 1겹(필요에 따라 2겹 가능) 일반 방수막 1겹, 전주(全周)시공 시공이음부 지수판 부착 콘크리트 강도 210~240 kg/cm² 인버트 방수막 외부에 유공배수관 설치 누수 집수관 설치(측벽 하단) 영구 배수설비 설치 	<ul style="list-style-type: none"> 습윤상태 허용(벽면에 수분얼룩이 검출될 수 있는 정도) 수압 3 kg/cm² 이상 지하수위 저하에 따른 사회적, 환경적 영향이 없는 여건 	0.2 ℓ /min/100m

배수형과 비배수형 터널의 방수방식을 살펴보면 기존의 터널 방수방식과 큰 차이를 보이지 않으나 시공이음부에 지수판을 부착하도록 한 것이 특징이다.

1.2 Shield 터널 통신구



(그림 1) Shield 콘크리트 세그먼트
지수 가스켓



(그림 2) 지수가스켓 부착방법

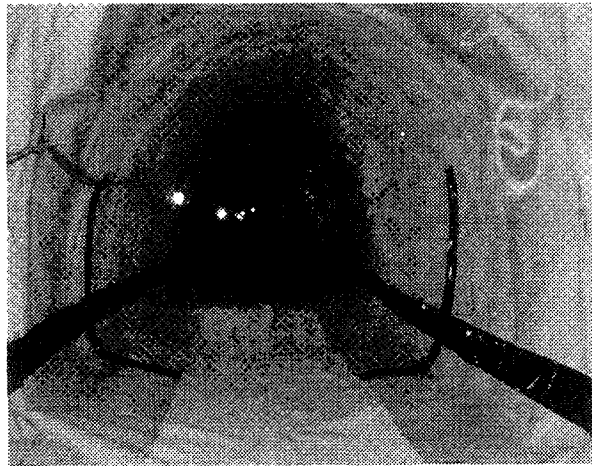
Shield 방식 통신구 터널의 방수 기준 역시 NATM 통신구와 같이, 수압에 따라 적용범위

와 허용누수량을 동일하게 적용하였다. 방수 공정은 Shield 와 NATM 의 콘크리트 라이닝 방식이 근원적으로 다르므로 콘크리트 세그먼트 접속부에 수팽창지수재 또는 (그림 1)과 같은 지수 가스켓을 배수형 터널은 1열, 비배수형 터널은 2열로 (그림 2)와 같이 부착하도록 하였다.

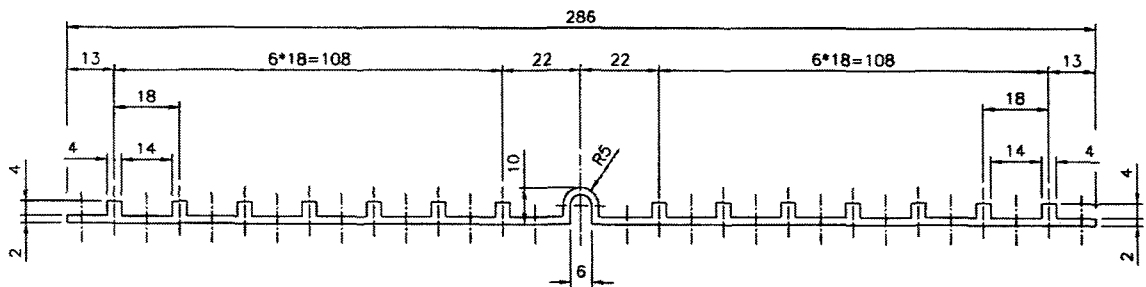
2. NATM 통신구 터널의 지수판

2.1 지수판의 규격 및 부착 위치

콘크리트 라이닝의 시공이음부(터널 종방향 및 횡방향)와 터널구간과 수직구의 접합부에 지수판을 부착하는데 방수시트와 동일재질로 하여 열융착으로 부착하고 (그림 3)과 같이 종방향 이음부는 인버트와 측벽부의 시공이음부에, 횡방향 이음부는 시공이음의 위치를 미리 정하여 콘크리트 타설전에 부착한다. 지수판의 규격은 (그림 4)와 같다.



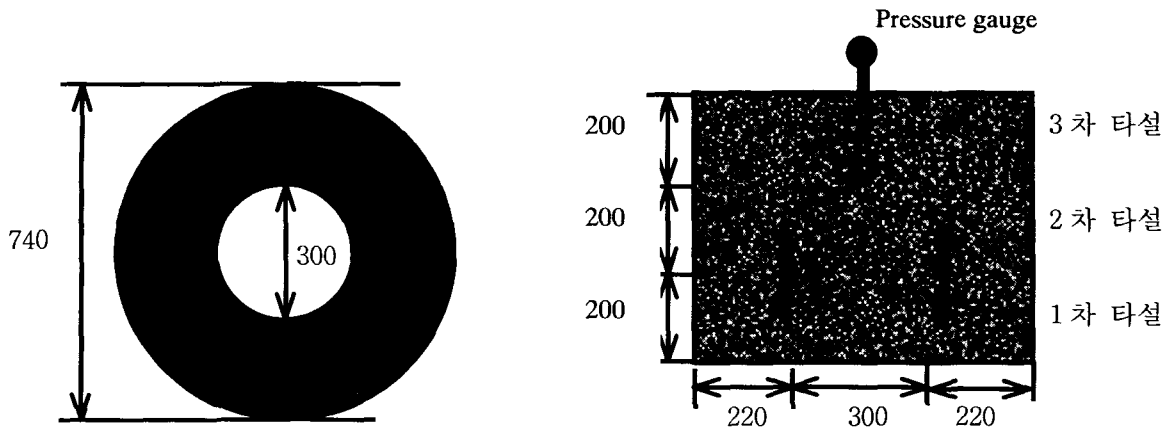
(그림 3) 지수판의 부착 위치



(그림 4) 지수판 규격(단위: mm)

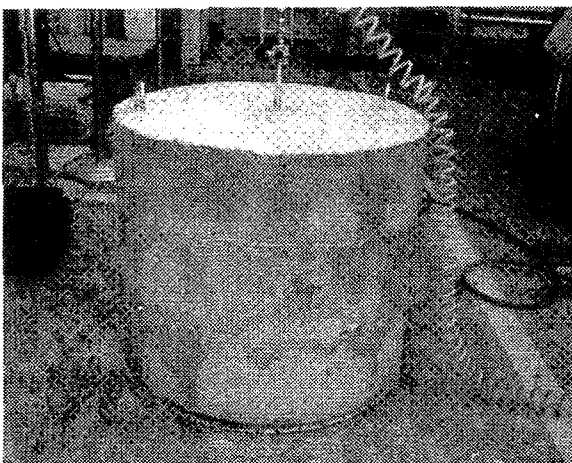
2.1 성능실험 방법 및 결과

지수판의 성능실험을 위하여 콘크리트 라이닝 모형을 제작하였다. 콘크리트의 설계 강도는 240kg/cm^2 로 하였으며 (그림 5)와 같이 콘크리트를 7일 간격으로 세 번에 나누어 타설하여 2 개소의 시공이음부를 만들었으며, 하부의 시공이음부에는 지수판을 설치하고 상부의 시공이음부에는 지수판을 설치하지 않고 수압을 가하여 비교실험을 하였다.

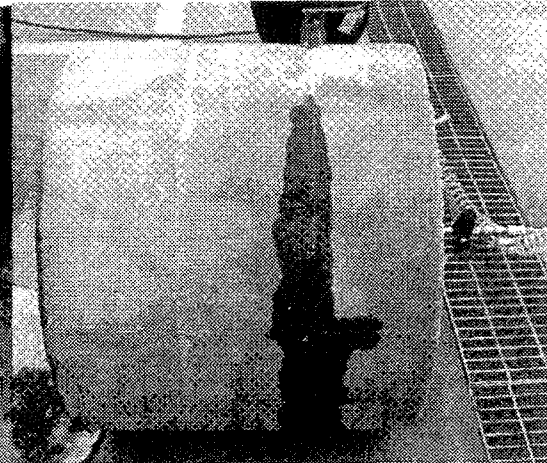


(그림 5) 실험용 콘크리트 라이닝 모형(단위 : mm)

콘크리트 라이닝 모형을 (그림 6)과 같이 세운 상태에서 물을 모형 내부 공간에 80%정도 채운 후 공기압을 가하면서 3 bar 에서부터 5 bar 까지 압력을 가하였다. 공기압이 3 bar, 4 bar, 5 bar 일 때 각 단계에서 24 시간이상 지수판이 설치되어 있는 하부의 시공이음부에서의 누수 여부를 관찰한 결과 완벽한 차수 효과를 나타내었다. 반면에, 콘크리트 라이닝 모형을 뒤여서 두 개소의 시공이음부에 물이 접하도록 하고 같은 과정의 실험을 반복하였는데, 이때에는 지수판을 부착하지 않은 시공이음부에서는 (그림 7)에서와 같이 3 bar 의 압력하에서 5분만에 누수가 발생하였으며 압력을 가하지 않은 상태에서도 콘크리트 라이닝 벽면에 습기가 묻어나움을 알 수 있었다.



(그림 6) 지수판 설치 시공이음부의 차수 효과

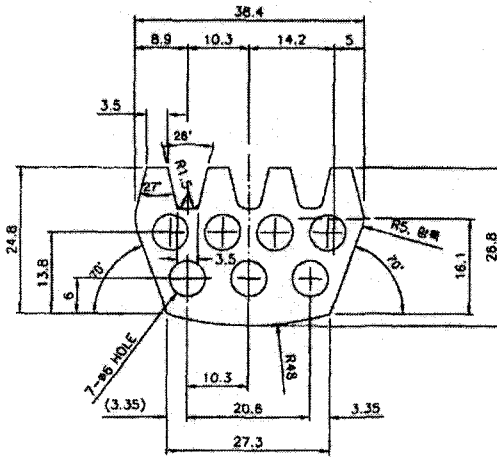


(그림 7) 지수판 미설치 시공이음부의 누수 현상

3. Shield 통신구 터널의 지수 가스켓

3.1 지수가스켓의 재질 및 규격

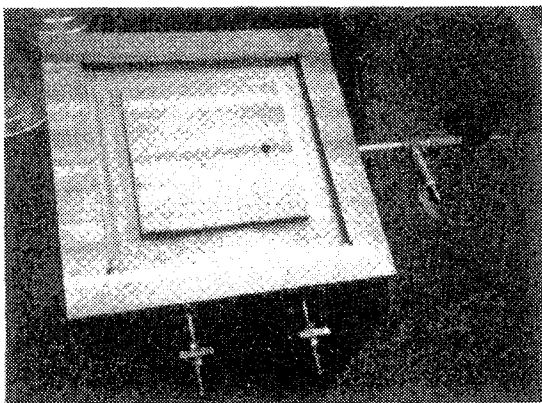
지금까지 Shield 터널의 콘크리트 세그먼트 이음부 방수는 수팽창지수재에 의존하여 왔다. 그러나 수팽창 지수재는 그 내구성이 터널의 수명보다 짧아 시간이 경과하면 방수 성능이 떨어져 터널의 누수원인이 되어왔다. 실험에 사용한 지수가스켓은 반 영구적이라 할 수 있는 EPDM 고무재질로 하여 인장강도 1700 psi, 신장을 300% 이상으로 하고 경도는 65, 60, 54로 각각 제작하여 최적의 경도를 찾고자 하였다. 지수가스켓의 규격은 (그림 8)과 같다.



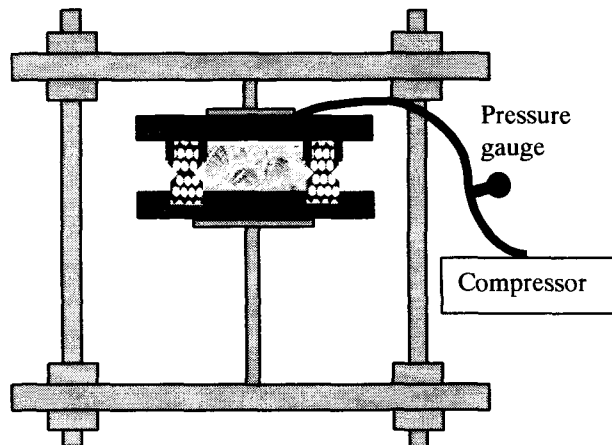
(그림 8) 지수가스켓의 규격

3.2 실험방법 및 결과

(그림 9)와 같이 가로, 세로의 규격이 400 mm x 400 mm, 두께 200 mm의 강판을 2개 준비하여 길이 13 mm, 폭 38.4 mm의 사각형 띠 모양의 홈을 만들어 이곳에 지수가스켓을 삽입하였다. 4각형 띠 모양의 지수가스켓을 만들기 위하여 각 모서리 부분을 특수 용접하여 이 곳으로 물이 새지 않도록 하였다. 2개의 강판에 지수가스켓을 삽입하고 지수가스켓을 맞대어 겹쳐 놓은 후 그 내부공간에 물을 채웠다. (그림 10) 에서 처럼 상부의 강판을 100 톤 시험기를 이용하여 압력을 가함과 동시에 물에 수압을 가하



(그림 9) 지수가스켓 누수 실험용 강판





(그림 10) 지수가스켓 누수 실험 장비 구성

면서 누수여부를 관찰하였다. 또한 세그먼트가 서로 정확히 위치하여 지수가스켓의 전면(全面)이 맞닿은 경우와 세그먼트가 이탈되어 지수가스켓이 1/2 면만 맞닿은 경우를 가정하여 구분하여 실험하였으며 그 결과를 <표 2>에 정리하였다.


<표 1-1> 지수가스켓 성능실험 결과(EPDM 고무 경도 65)


작용하중	수압	전면(全面) 접촉	1/2 면 접촉	비 고
3 Kg/cm ² (4,800 kg)	3 bar	누수 발생	누수 발생	
	4 bar	-	-	
	5 bar	-	-	
6 Kg/cm ² (9,600 kg)	3 bar	누수 발생	누수 없음	
	4 bar	누수 발생	접촉면에서 기포발생	
	5 bar	누수 발생	접촉면에서 누수발생	
9 Kg/cm ² (4,800 kg)	3 bar	모서리에서 기포발생	누수 없음	
	4 bar	접촉면에서 누수발생	누수 없음	
	5 bar	접촉면에서 누수발생	누수 없음	
12 Kg/cm ² (9,600 kg)	3 bar	누수 없음	누수 없음	
	4 bar	누수 없음	누수 없음	
	5 bar	누수 없음	누수 없음	

<표 1-2> 지수가스켓 성능실험 결과(EPDM 고무 경도 60)

작용하중	수압	전면(全面) 접촉	1/2 면 접촉	비 고
3 Kg/cm ² (4,800 kg)	3 bar	누수 없음	누수 없음	
	4 bar	누수 발생	누수 없음	
	5 bar	누수 발생	누수 발생	
6 Kg/cm ² (9,600 kg)	3 bar	누수 없음	누수 없음	
	4 bar	누수 없음	누수 없음	
	5 bar	누수 없음	누수 없음	

<표 1-3> 지수가스켓 성능실험 결과(EPDM 고무 경도 54)

작용하중	수압	전면(全面) 접촉	1/2 면 접촉	비 고
3 Kg/cm ² (4,800 kg)	3 bar	누수 발생	누수 발생	
	4 bar	누수 발생	누수 발생	
	5 bar	누수 발생	누수 발생	

6 Kg/cm ² (9,600 kg)	3 bar	누수 없음	누수 없음	
	4 bar	누수 없음	누수 없음	
	5 bar	누수 없음	누수 없음	

실험결과에서 알 수 있듯이 경도 65의 EPDM 고무재질로 만든 지수가스켓은 12 Kg/cm² 이상으로 압력을 가했을 때, 즉 세그먼트를 조립할 때 12 Kg/cm² 이상의 힘으로 체결을 하여야 누수가 발생하기 않았다. 그러나 세그먼트의 체결력을 조사한 결과 이러한 힘을 작용시킬 수 없기 때문에 현장에 적용하기는 어려울 것으로 판단된다. 또한 모든 실험에서 전면(全面)접촉을 하였을 때보다 1/2면 접촉을 하였을 때 방수성능이 좋음을 알 수 있는데, 이는 접촉면이 작아져 단위면적당 압력이 커짐으로 인해 두 개의 지수가스켓이 매우 수밀되게 접촉하고 있기 때문이다. 실험결과 경도 60의 지수가스켓이 가장 뛰어난 방수성능을 나타내었다.

4. 결론

본 실험적 연구는 NATM 및 Shield 방식의 통신구 터널 방수공법과 설계기준(안)에 새로이 추가된 지수판과 지수가스켓의 효과를 검증하기 위하여 수행되었다. NATM 터널에서 시공이음부가 주요 누수부위인 것은 이미 널리 알려진 사실이며, 이에 대한 대책인 지수판이 매우 효과적인 방수 성능을 보임에 따라 임의의 통신구 터널 건설 현장을 택하여 시험시공을 하였다. 수팽창 지수재를 대신하여 주로 일본과 독일에서 사용하고 있는 Shield 터널용 지수가스켓은 반영구적 내구성을 위하여 고체형 Neoprene, Foamed Neoprene 또는 천연고무등을 사용하는데, 생산비용이 높고 작업면의 매우 청결한 조건과 더불어 세그먼트를 조립할 때 높은 정확도를 요구한다.

터널의 누수는 구조물의 안전성과 내구성 뿐만 아니라 터널에 수용된 시설물에도 악영향을 끼칠 수 있어 터널의 방수를 위하여는 NATM 터널 시공이음부에서의 지수판 부착이 필수적이며 Shield 세그먼트 이음부에서는 경도 60의 EPDM 고무재질로 제작된 지수가스켓이 가장 효과적이다.

5. 참고문헌

1. 한국지반공학회, "통신구 터널의 방수설계 기술연구", 학술연구 용역보고서, 1998